

Radar device for obstacle warning

Patent Number: ☐ US5451957
Publication date: 1995-09-19
Inventor(s): KLAUSING HELMUT (DE)
Applicant(s): DAIMLER BENZ AEROSPACE AG (DE)
Requested Patent: ☐ DE4323511
Application Number: US19940273820 19940712
Priority Number(s): DE19934323511 19930714
IPC Classification: G01S13/90; G01S13/93
EC Classification: G01S13/90S
Equivalents: ☐ EP0634668, B1, HK1001501, JP3050492B2,
☐ JP7146363

Abstract

The present invention pertains to a radar device with synthetic aperture based on rotating antennae (ROSAR principle), preferably for helicopters, which operates in the millimeter-wave range and is used mainly as an obstacle radar, wherein the full synthetic aperture length can be reached already within very short distances due to the arrangement of the antennae on a turnstile. Exemplary embodiments, calculations and representations are shown and explained.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

ZU F E C Y 7 5 1 C 1
[Barcode]

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 23 511 C 1

⑤① Int. Cl.⁸:
G 01 S 13/90
G 01 S 13/94
G 01 S 7/02
G 08 G 5/04
G 08 C 17/00

②① Aktenzeichen: P 43 23 511.5-35
②② Anmeldetag: 14. 7. 93
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 26. 1. 95

DE 43 23 511 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

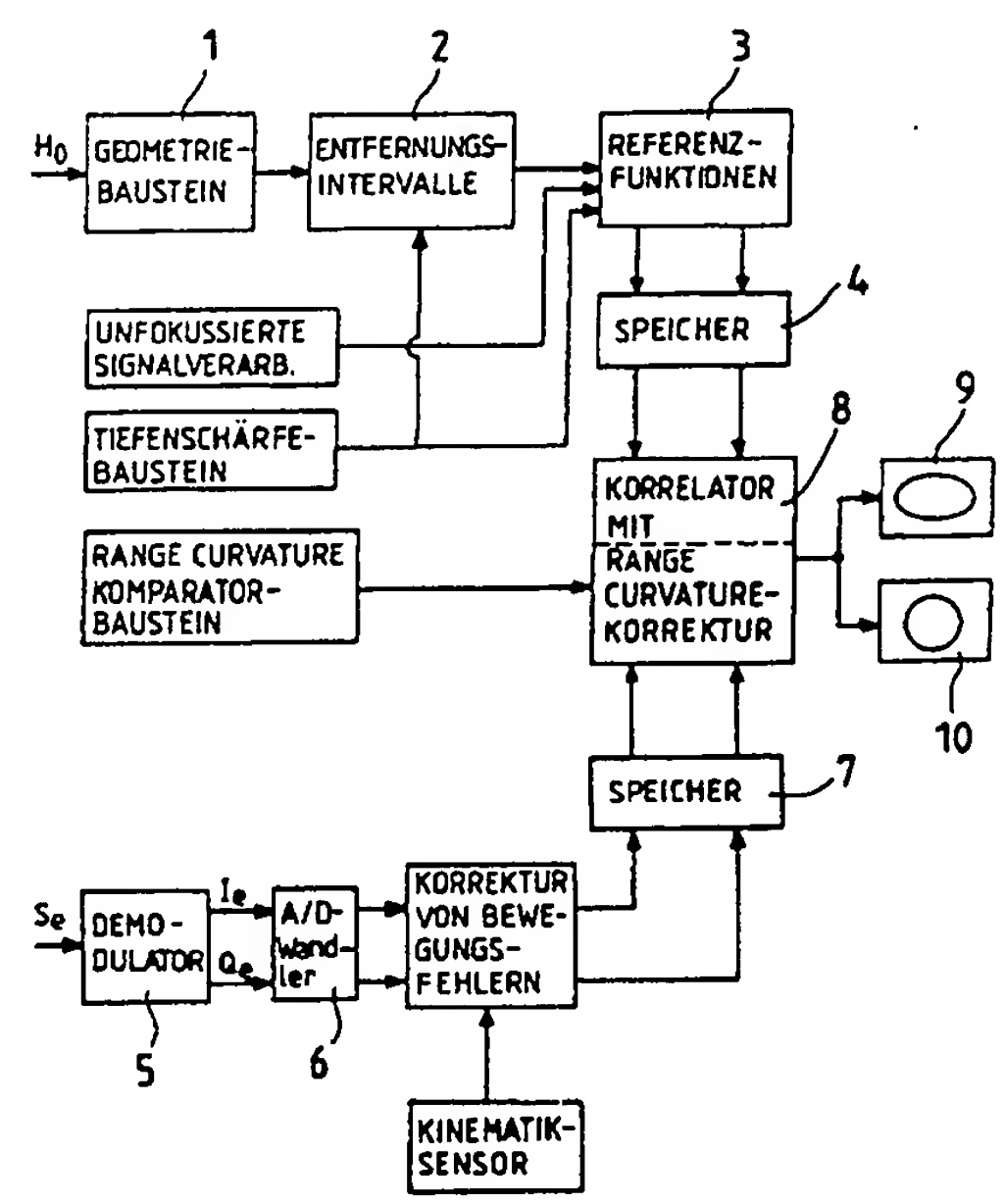
⑦③ Patentinhaber:
Deutsche Aerospace AG, 80804 München, DE

⑦② Erfinder:
Klausing, Helmut, Dipl.-Ing. Dr., 83043 Bad Aibling, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 39 22 086 C1
ELLIS, A.B.: The processing of synthetic aperture
radar signals. In: The Radio and Electronic Engineer,
1983, Nr.3, S.107-114;

⑤④ Radargerät zur Hinderniswarnung

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf ein Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen (ROSAR-Prinzip), vorzugsweise für Helikopter, das im Millimeterwellenbereich arbeitet und vornehmlich als Hindernisradar eingesetzt wird, wobei durch die Antennenanordnung an einem Drehkreuz die volle synthetische Aperturlänge bereits innerhalb kürzester Entfernungen erreichbar ist. Ausführungsbeispiele, Berechnungen und Darstellungen sind gegeben und erläutert.



DE 43 23 511 C 1

Die Erfindung geht aus von einem Radargerät zur Hinderniswarnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE-PS 39 22 086 ist ein Radargerät mit einem Sender und einem Empfänger sowie einer Antenne zum Senden und Empfangen von Radarimpulsen bekannt, wobei die Antenne am Ende eines rotierenden Armes, beispielsweise eines Hubschrauberrotors oder eines Drehkreuzes oberhalb der Rotorachse, angeordnet ist. Ein solches Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen wird als ROSAR-Gerät bezeichnet. Die Verwendung eines Drehkreuzes statt der Rotorblätter ändert grundsätzlich nichts am ROSAR-Prinzip, sondern hat lediglich den Nachteil geringerer Lateralaufklärung, jedoch den wesentlichen Vorteil, daß die volle synthetische Aperturlänge bereits innerhalb kurzer Entfernungen erreicht wird. Außerdem weist das Drehkreuz eine hohe mechanische Stabilität auf. Ein derartiges Gerät kann in Echtzeitnähe im On-line-Betrieb eingesetzt werden und neben der Kartographie, der Hinderniswarnung oder der Landehilfe auch der Zielaufklärung und der Zielverfolgung dienen. Ein weiteres Anwendungsgebiet liegt in der Flugkörpereinweisung. Bei dem bekannten ROSAR-Gerät wird das Ergebnis für jedes Entfernungsintervall stets durch Korrelation des Empfangssignals mit einer für dieses Entfernungsintervall gültigen Referenzfunktion erhalten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das bekannte ROSAR-Verfahren so auszubauen und zu verbessern, daß es in Echtzeitnähe im On-line-Betrieb eingesetzt werden und neben der Kartographie, der Hinderniswarnung oder der Landehilfe auch der Zielaufklärung, der Zielverfolgung und der Flugkörpereinweisung dienen kann und daß die volle synthetische Aperturlänge bereits innerhalb kurzer Entfernungen erreicht wird.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben.

In der nachfolgenden Beschreibung werden Ausführungsbeispiele erläutert. Die Figuren der Zeichnung ergänzen diese Erläuterung. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schemabild der ROSAR-Beleuchtungsgeometrie mit dem Drehkreuz oberhalb des Rotors in der Rotorachse,

Fig. 2 ein Diagramm bezüglich des Verlaufs der Winkelauflösung als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne in Azimut γ ,

Fig. 3 eine Darstellung der geometrischen Anordnung zur Definition der synthetischen Apertur S ,

Fig. 4 ein Diagramm über den Verlauf der Lateralaufklärung als Funktion der Entfernung zum Ziel für verschiedene Öffnungswinkel der Antenne in Azimut,

Fig. 5 ein Schemabild bezüglich der Radialauflösungen, welche die Länge der Entfernungsintervalle festlegen, wobei im Nahbereich die Radialauflösung größer ist als im Fernbereich,

Fig. 6a ein Schemabild bezüglich des ausgeleuchteten Bereiches in Azimut, wobei alle Öffnungswinkel gleich groß sind,

Fig. 6b ein Schemabild bezüglich des ausgeleuchteten Bereiches in Azimut, wobei zwei schwach bündelnde Antennen zur Signalverarbeitung nach dem Prinzip der synthetischen Apertur auf ROSAR-Basis und zwei stark bündelnde Antennen nach dem Prinzip der realen Apertur arbeiten,

Fig. 7a bis 7c Ausführungsbeispiele für die Beleuchtungsgeometrie in Elevation mit den Öffnungswinkeln der Antenne in Elevation in schematischer Darstellung,

Fig. 7d ein Ausführungsbeispiel der Kreisringausleuchtung für die Bodenabbildung,

Fig. 8 ein Blockschaltbild eines Prozessors für ein ROSAR-Gerät.

Fig. 1 zeigt schematisch die ROSAR-Beleuchtungsgeometrie mit dem Drehkreuz oberhalb der Rotorachse (nicht maßstäblich).

Durch die in den Armspitzen des Drehkreuzes angebrachten Antennen wird bei schräger Blickrichtung nach unten ein Kreisring ausgeleuchtet, wobei die beleuchtete Streifenbreite vom Öffnungswinkel der Antenne in Elevation ε , dem Depressionswinkel Θ und von der Höhe H_0 der Trägerplattform abhängig ist. Bei direkter radialer Abstrahlung, z. B. zur Hinderniswarnung, wird die unmittelbare Umgebung des Hubschraubers beleuchtet. Das zur Bilderzeugung benötigte Dopplerspektrum wird durch Rotation der in den Spitzen der Drehkreuzarme untergebrachten Antennen erzeugt, ohne daß eine translatorische Bewegungskomponente der Trägerplattform nötig ist. Die Rotation der Antenne sorgt für eine Rundumsicht, d. h. ROSAR kann den gesamten Winkelbereich von 360° überdecken. Für den Sende- und Empfangsvorgang wird dabei immer die gleiche Antenne verwendet. Die zur Abtastung notwendigen Sendeimpulse werden während der Drehbewegung mit einer vorgegebenen Pulswiederholfrequenz über die Antenne ausgestrahlt und die Echosignale über die gleiche Antenne empfangen. Die Pulswiederholfrequenz f_p ist, wie bei der linearen Antennenbewegung auch, durch die Dopplerbandbreite des Empfangssignals festgelegt. Beim Radargerät handelt es sich hier um ein Impulsradar oder alternativ dazu um ein FM-CW-Radar. Die Signalauswertung und Bilderzeugung soll nach einer gewissen Datenvorverarbeitung in der sich mitdrehenden Sende- und Empfangseinheit dann an Bord des Hubschraubers mittels eines spezifischen ROSAR-Prozessors erfolgen. Durch die Antennenbewegung entlang einer Kreisbahn entspricht dem zeitlichen Abstand $T_p = 1/f_p$ zwischen zwei Sendeimpulsen der Winkelbereich $\Delta\alpha = \omega_0/f_p$ beim ROSAR, wobei ω_0 die Winkelgeschwindigkeit des Antennenarmes ist. Der beleuchtete Streifen am Boden ist ein Kreisring, weshalb die Signalverarbeitung als Funktion des Drehwinkels $\alpha = \omega_0 t$ erfolgt. Die Position des abgebildeten Zieles ist durch die Angabe der radialen Entfernung und des Drehwinkels vollständig bestimmt. Dazu ist es ebenfalls notwendig, die Position der Antenne während der Drehbewegung festzuhalten und jede neue Umdrehung zu markieren.

Bei den bisherigen Untersuchungen zur Realisierbarkeit des ROSAR wurde von einer ebenen Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ausgegangen. Die rotierenden Arme vollführen in der Praxis jedoch von einer idealen Kreisbahn abweichende deterministische und stochastische Bewegungen, die vermessen und als Korrektursignale in den ROSAR-Prozessor eingespeist werden müssen. Durch Kurven- und Vorwärtsflug des Hubschraubers ändert sich weiterhin die Beleuchtungsgeometrie in Elevation und Azimut. Diese Änderung muß ebenfalls im Rahmen der Signalverarbeitung und bei der Darstellung des Radarbildes im Hubschrauber berücksichtigt werden. Im Azimut erfährt das Empfangssignal eine zusätzliche Dopplermodulation infolge einer zusätzlichen Geschwindigkeitskomponente der Trägerplattform.

Das Auflösungsvermögen des Heli-Radars ist ein Maß für die Trennbarkeit zweier benachbarter Ziele gleicher Rückstrahlfläche und wird in Azimut und Elevation als Winkel und in radialer Richtung als Entfernung angegeben.

Das Verfahren der synthetischen Apertur nutzt nicht die Bündelung der Antennenkeule zur Lateralauflösung, sondern den während der Beleuchtung eines Zieles zurückgelegten Antennenweg zu einer künstlichen Vergrößerung der Antennenlänge. Die synthetische Apertur entsteht dadurch, daß ein punktförmiges Ziel innerhalb der Keule einer realen Antenne, die sich entlang des Flugweges bewegt, beleuchtet wird und alle Empfangsechos nach Betrag und Phase gespeichert werden. Diesen während der Beleuchtung des Zieles zurückgelegten Flugweg nennt man synthetische Apertur.

Wegen der sich dabei ändernden Entfernung zwischen Antenne und Ziel weist das empfangene Echosignal gegenüber dem Sendesignal eine Dopplerfrequenz-Verschiebung auf. Jedes beleuchtete Ziel ist dann durch seinen charakteristischen Dopplerfrequenzverlauf gekennzeichnet und kann prinzipiell von benachbarten Zielen unterschieden werden. Die Signaltheorie lehrt, daß die bestmögliche Auflösung dann erreicht wird, wenn der Empfänger an das zu erwartende Empfangssignal angepaßt wird. Diese Forderung wird durch ein Optimalfilter erfüllt. Wird dieses Optimalfilter durch einen Korrelator realisiert, so erfolgt beim Radar mit synthetischer Apertur eine Kreuzkorrelation zwischen dem Empfangssignal und einer aus dem Meßablauf zu erwartenden Funktion. Diese Funktion wird Referenzfunktion genannt. Die Referenzfunktion wird aus der Beleuchtungsgeometrie für ein einzelnes Ziel am Boden während des Überstreichens durch die Antenne innerhalb eines vorgegebenen Entfernungsintervalls abgeleitet und die Radialauflösung ist, wie beim herkömmlichen Impulsradar, durch die Impulsdauer bzw. Bandbreite des Sendesignals vorgegeben.

Bei der Lateralauflösung beim ROSAR erfolgt die Antennenbewegung entlang eines Kreisbogens, weshalb die Angabe der Lateralauflösung nicht aus der Theorie des linearen SAR übernommen werden kann. Der für die Abbildung relevante Winkelbereich erstreckt sich dann ungefähr über den Halbkreis der Rotationsebene, wenn der Durchgang des Blattes in Richtung des beleuchteten Zieles den Nullpunkt des Drehwinkels festlegt. Durch die Begrenzung der maximalen Länge der synthetischen Apertur auf den Halbkreis ist leicht einzusehen, daß die Auflösung beim ROSAR im Gegensatz zum linearen SAR weiterhin entfernungsabhängig bleibt.

Die mit dem ROSAR-Verfahren erreichbare Lateralauflösung Δx in der Entfernung zum Ziel R_{G0} kann mit der abgeschätzten Winkelauflösung $\tilde{\alpha}_{AZ}$:

$$\tilde{\alpha}_{AZ} = \frac{\lambda}{5 \cdot L \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

errechnet werden zu:

$$\Delta x = \tilde{\alpha}_{AZ} \cdot R_{G0} = \frac{\lambda}{5 \cdot L \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \cdot R_{G0}.$$

Dabei ist λ die Wellenlänge des Sendesignals, L die Länge des Antennenarmes und γ der Öffnungswinkel der Antenne in Azimut.

Fig. 2 zeigt den Verlauf der Winkelauflösung $\tilde{\alpha}_{AZ}$ als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne in Azimut γ .

Bei dieser Abschätzung wird davon ausgegangen, daß bereits die volle Länge der möglichen synthetischen Apertur erreicht wurde, d. h. es gilt:

$$\tilde{S} = \gamma \cdot L.$$

Ist dies nicht der Fall, so gilt:

$$S = \gamma \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{R_{G0}}\right).$$

Der zur Apertur S gehörende Drehwinkelbereich α_s während der Beleuchtung eines Zieles 0 berechnet sich zu:

$$\alpha_s = \frac{S}{L}$$

Die synthetische Apertur S ist der Weg des Phasenzentrums der Antenne A mit dem Öffnungswinkel γ , welcher während der Beleuchtung eines Zieles 0 zurückgelegt wird. Der Antennenweg ist beim ROSAR eine Kreisbahn, weshalb die synthetische Apertur S als Kreisbogenabschnitt definiert ist.

Fig. 3 zeigt die geometrische Anordnung zur Definition der synthetischen Apertur S . Die Länge der synthetischen Apertur S ist vom Öffnungswinkel der Antenne A in Azimut γ , der Entfernung am Boden R_{G0} zum Ziel 0 und der Länge des Antennenarmes L abhängig. Dabei wird die Begrenzung der maximalen Apertur auf den Halbkreis der Rotationsebene vorausgesetzt, weil nur derjenige Drehwinkelbereich einen Beitrag zur Lateralauflösung liefert, welcher tatsächlich eine Änderung des Aspektwinkels zum Ziel hervorruft und gleichzeitig auch die Dopplerbandbreite erhöht. Ist die volle Länge der synthetischen Apertur bei der jeweiligen Entfernung zum Ziel noch nicht erreicht, so wird die erreichbare Winkel- bzw. Lateralauflösung entsprechend schlechter. Beim Hinderniswarnradar muß schnell die volle synthetische Aperturlänge S wegen den kurzen Reichweiten und der geforderten hohen Lateralauflösung erreicht werden. Weil die synthetische Aperturlänge S direkt von der Länge des Antennenarmes L (Faktor L/R_{G0}) abhängt, ist die Verwendung des Drehkreuzes mit $L = 1.5$ m durchaus vorteilhaft.

Die überhaupt maximal mögliche synthetische Aperturlänge S_{\max} beträgt mit $L = 1.5$ m als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne in Azimut γ :

$$\begin{aligned} \gamma = 45^\circ: S_{\max}(R_{G0} \rightarrow \infty) &= 1.18 \text{ m} \\ \gamma = 70^\circ: S_{\max}(R_{G0} \rightarrow \infty) &= 1.83 \text{ m} \end{aligned}$$

Bereits an den Enden des Hubschrauberrotorblattes ($R_{G0} \approx 5$ m) beträgt die Aperturlänge S mit $L = 1.5$ m als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne in Azimut γ :

$$\begin{aligned} \gamma = 45^\circ: S(R_{G0} \approx 5 \text{ m}) &= 0.82 \text{ m} \\ \gamma = 70^\circ: S(R_{G0} \approx 5 \text{ m}) &= 1.28 \text{ m} \end{aligned}$$

und damit 70% des Maximalwertes.

Es gilt dann für die Winkelauflösung $\tilde{\alpha}_{AZ}$ mit $L = 1.5$ m und $\lambda = 6.25 \cdot 10^{-3}$ m (48 GHz) als Funktion des Öffnungswinkels der Antenne in Azimut γ :

$$\gamma = 45^\circ: \tilde{\alpha}_{AZ} = 0.12^\circ$$

$$\gamma = 70^\circ: \tilde{\alpha}_{AZ} = 0.08^\circ$$

Fig. 4 zeigt beispielhaft den Verlauf der Lateralaufklärung Δx mit $L = 1.5$ m und $\lambda = 6.25 \cdot 10^{-3}$ m als Funktion der Entfernung zum Ziel R_{G0} für $\gamma = 45^\circ$ und $\gamma = 70^\circ$: Diese Auflösewerte sind für die Drahtdetektion wahrscheinlich ausreichend, da Drähte nur detektiert, jedoch nicht unbedingt aufgelöst werden sollen. Für den Fall, daß Nebenkeulen die benachbarten Antennen innerhalb des Antennenfächers stören, kann γ noch kleiner gewählt werden, weil auch die damit verbundene geringere Lateralaufklärung noch ausreicht.

Die Winkelaufklärung in Elevation wird durch die Bündelungsfähigkeit der realen Antennenkeule mit dem Öffnungswinkel ϵ vorgegeben, d. h. es erfolgt keine Verbesserung der Auflösung nach dem Prinzip der synthetischen Apertur. Ein realistischer Wert für die Bündelung der realen Antennenkeule liegt im Bereich zwischen 2° und 5° .

Die Radialauflösung ΔR_{Smin} errechnet sich beim Impulsradar mit der komprimierten Sendeimpulsdauer τ der Lichtgeschwindigkeit c und mit $B = 1/\tau$ zu:

$$\Delta R_{Smin} = \frac{c \cdot \tau}{2} = \frac{c}{2 \cdot B}$$

Zum Erzielen einer befriedigenden Leistungsbilanz sollte das Verfahren der Pulskompression verwendet werden. Durch die künstliche Vergrößerung der Sendeimpulsbreite bei der Pulskompression entsteht jedoch ein dieser Impulsbreite proportionaler Totbereich, weshalb eine erfolgversprechende Alternative zum Impulsradar das FM-CW-Radar ist. Die Erzeugung der zur Radialauflösung notwendigen Bandbreite B erfolgt bei diesem Radarverfahren durch lineare Modulation der Sendefrequenz.

Um eine Signalverarbeitung mit realisierbarem Aufwand zu gewährleisten, wird vorgeschlagen, die Anzahl der Entfernungsintervalle, d. h. Auflösungszellen, so gering wie möglich zu halten. Dies kann durch Variierung der Größe der Entfernungsintervalle erreicht werden, d. h. im Nahbereich werden die Entfernungsintervalle kleiner, d. h. die Radialauflösung besser sein als im Fernbereich. Fig. 5 zeigt das zugehörige Bild mit den jeweiligen Radialauflösungen ΔR_{Smini} (hier $i = 1$ bis 4), welche die Länge der Entfernungsintervalle festlegen.

Bei der Detektion von Drähten erzeugen hauptsächlich rechtwinklig bzw. in einem Ablagebereich von einigen Grad getroffene Drähte ein deutliches Rückstreusignal, weil Draht Hindernisse mit einer Ausdehnung größer als die Wellenlänge wie eine spiegelnde Wand wirken. Ein großer Vorteil des ROSAR-Verfahrens liegt nun darin, daß durch den relativ großen Öffnungswinkel der Antenne in Azimut γ während der Beleuchtung des Drahtes eine rechtwinklige Beleuchtung mit hoher Wahrscheinlichkeit auftritt. Weiterhin beträgt bei einem Drehwinkelbereich von einigen Grad während der Beleuchtung eines Leitungsstückes die beleuchtete Länge

dieses Stückes bereits einige Meter. Dann wird dieses Leitungsstück im Empfangssignal nicht mehr als ein einzelnes Punktziel erscheinen, sondern repräsentiert im Radarbild eine Kette von nebeneinanderliegenden Punktzielen, deren Echosignale sich statistisch überlagern. Diese benachbarten Punktziele können im prozessierten Radarbild nach der Korrelation mit den Referenzfunktionen mit Hilfe eines Schwellwertdetektors verbunden werden. Falls die Auflösungszelle hinreichend klein ist, zieht sich dann eine "Leitungslinie" im Radarbild automatisch durch die benachbarten Zellen. Diese Leitungslinie kann auch durch die Verwendung spezieller mathematischer Algorithmen auf dem Radarbild dargestellt werden, d. h. die auf einer Geraden liegenden Punkte werden zur Linie verbunden.

Zur Gesamtkonzeption für ein Hinderniswarnradar auf ROSAR-Basis wird davon ausgegangen, daß das ROSAR sowohl zur Hinderniswarnung, als auch zur Kartographie, d. h. Abbildung des Erdbodens, einsetzbar sein muß. Dazu werden die Antennen entweder so angeordnet, daß sie direkt in radialer Richtung schauen oder auch zum Boden gerichtet sind und damit eine Abbildung des Erdbodens ermöglichen.

Durch die am Ende des rotierenden Armes angebrachten Antennen wird eine kreisbogenförmige synthetische Apertur erzeugt, wobei der beleuchtete Bereich hauptsächlich von den Antennenparametern in Azimut und Elevation bestimmt wird. Die Randbedingungen der Beleuchtungsgeometrie ergeben sich aus dem Flug- und Landekonzept des Hubschraubers.

Fig. 6a und 6b zeigen verschiedene Ausführungsbeispiele hinsichtlich des ausgeleuchteten Bereiches in Azimut mit den Öffnungswinkeln der Antenne in Azimut γ . In Fig. 6a sind alle Öffnungswinkel gleich groß, d. h. die Betriebsparameter zur Signalverarbeitung nach dem ROSAR-Prinzip sind ebenfalls gleich. In Fig. 6b ist beispielhaft eine Ausführung mit zwei schwach bündelnden Antennen zur Signalverarbeitung nach dem Prinzip der synthetischen Apertur auf ROSAR-Basis und zwei stärker bündelnde Antennen nach dem Prinzip der realen Apertur aufgezeigt. Beim Prinzip der realen Apertur wird die Lateralaufklärung alleine durch die Bündelungsfähigkeit der Antenne erreicht. Der Nachteil bei diesem Prinzip mit realer Apertur liegt in der eingeschränkten Lateralaufklärung. Der Vorteil der realen Apertur besteht darin, daß die Signalverarbeitung erheblich vereinfacht durchgeführt werden kann. Gerade im Nahbereich zur Hinderniswarnung kann die reale Apertur eine hinreichende Auflösung bieten und eingesetzt werden.

Fig. 7a bis Fig. 7c zeigen Ausführungsbeispiele für die Beleuchtungsgeometrie in Elevation mit den Öffnungswinkeln der Antenne in Elevation ϵ . Dabei können mehrere Antennen an den Enden eines jeweiligen Dreharmes mit verschiedenen Öffnungswinkeln ϵ und Neigungswinkeln von der Horizontalen (Depressionswinkeln) aus angeordnet werden oder einzelne Antennen verteilen sich auf die Dreharme. Weiterhin können die Antennen so ausgerichtet werden, daß sie sowohl zur Hinderniswarnung in Hubschrauberflugrichtung schauen oder zum Boden geneigt sind und damit den Erdboden kartographisch abbilden. Die zu den jeweiligen Antennen zugehörigen Sende/Empfangseinheiten und damit das Radardesign hinsichtlich der Signalauswertung können, um Störungen infolge von Interferenzen zu vermeiden, bei verschiedenen Frequenzen arbeiten.

Für die Bodenabbildung besteht darüber hinaus noch die Möglichkeit, durch Variation des Depressionswinkels von Antenne zu Antenne, und damit von Dreharm

zu Dreharm, am Boden gestaffelt Kreisringe auszu-
leuchten, wodurch die Jeweilige Signalverarbeitung pro
Antenne erheblich beschleunigt wird (Fig. 7d).

In Fig. 8 ist ein Schaltbild eines Prozessors für ein
ROSAR-Gerät gezeigt, wobei in der oberen Hälfte des
Blockschaltbildes entsprechend einem ersten Kanal die-
jenigen Bausteine dargestellt sind, die zur Erzeugung
der Referenzfunktionen notwendig sind, und in der un-
teren Hälfte entsprechend einem zweiten Kanal diejeni-
gen Bausteine, die dem Empfang der am Boden reflekti-
erten Signale dienen.

Im ersten Kanal ist ein Geometriebaustein 1 vorgese-
hen, der anhand der Höhe H_0 der Antenne über Grund
und anderer Parameter, insbesondere dem Depressions-
winkel, dem Inklinationswinkel und der Länge des Ro-
torarmes verschiedene Größen und Funktionen berech-
net, die einer Prozessorschaltung 2 zum Aufteilen des
ausgeleuchteten Gebietes in einzelne Entfernungsin-
tervalle zugeführt werden. Diese Prozessorschaltung 2 ist
mit einem Prozessorbaustein 3 verbunden, in dem an-
hand der Ausgangssignale der Prozessorschaltung 2 die
Referenzfunktionen für die einzelnen Entfernungsin-
tervalle berechnet werden. Die für die Korrelation not-
wendigen Referenzfunktionen werden in einen Speicher
4 übertragen.

Im zweiten Kanal werden die Echosignale S_e einem
Quadraturdemodulator 5 zugeführt und in die Inphase-
und Quadraturkomponente I_e bzw. Q_e zerlegt. Die bei-
den Komponenten werden Analog-Digital-Wandlern 6
zugeführt, an deren Ausgang dann diskrete Abtastwerte
anliegen. Diese komplexen Echosignale werden dann
für die Korrelation in Speicher 7 übertragen. In diesem
Speicher 7 werden die Empfangssignale S_e für die Je-
weiligen Entfernungsintervalle aus den zu diesen Inter-
vallen zugehörigen Echosignalen zusammengefügt. Die
jeweils in den Speichern 4 bzw. 7 abgelegten Signale
werden synchron einem Korrelator 8 zugeführt und
korreliert. Das Korrelationsergebnis wird an einer An-
zeige, z. B. einem Monitor 9, dargestellt und/oder weiter
einem Auswertegerät 10 zugeführt.

Zusätzlich zu den beschriebenen Prozessorbaustei-
nen sind noch Bausteine zur

- unfokussierten Signalverarbeitung,
- Tiefenschärferechnung,
- Range Curvature-Korrektur und
- Korrektur von Bewegungsfehlern

vorgesehen.

Der Kinematik-Sensor zur Korrektur von Bewe-
gungsfehlern besteht im wesentlichen aus verschiede-
nen Beschleunigungssensoren. Mit Hilfe dieser Be-
schleunigungssensoren können durch Integration bzw.
doppelte Integration Änderungen hinsichtlich der Ge-
schwindigkeit und des Weges gemessen werden. Die zu
vermessenden Bewegungsfehler, d. h. Abweichungen
von der idealen Kreisbahn, resultieren z. B. aus den Roll-
und Nickbewegungen des Hubschraubers und damit als
Folge daraus aus Bewegungen des Drehkreuzes mit den
in den Armspitzen integrierten Antennen. Weiterhin
entstehen Bewegungsfehler durch die Fluggeschwindig-
keit des Helikopters, welche ebenfalls korrigiert werden
müssen.

Mit Hilfe der Messung auftretender Phasenfehler im
Empfangssignal infolge der Abweichungen von der
idealen Kreisbahn können die Empfangssignale derge-
stalt korrigiert werden, als ob sie von der idealen Kreis-
bahn stammen würden. Nur für den korrigierten Fall,

also für die ideale Kreisbahn, erhält man durch Korrela-
tion des Empfangssignals mit der Referenzfunktion, die
sich immer für den idealen Fall berechnet, das optimale,
der ROSAR-Theorie entsprechende Korrelationser-
gebnis und damit die Lateralauflösung.

Patentansprüche

1. Radargerät mit synthetischer Apertur auf der
Basis rotierender Antennen zur Hinderniswarnung
für Helikopter, mit einem Prozessor für ein RO-
SAR-Gerät und einem Sender und einem Empfän-
ger sowie Antennen zum Senden und Empfangen
von Radarimpulsen, wobei die Antennen am Ende
eines rotierenden Armes eines Hubschrauberro-
tors oder eines Drehkreuzes oberhalb der Rotor-
achse angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- a) für Entfernungen, die außerhalb des für die
Hinderniswarnung interessierenden Bereichs
liegen — etwa ab 500 m — das Gerät die Si-
gnalverarbeitung nach der unfokussierten Me-
thode durchführt und hierzu ein Schwellwert-
detektor angeordnet ist, der bei Überschreiten
einer vorgegebenen Amplitude das Korrela-
tionsergebnis zwischen dem Empfangssignal
und der Referenzfunktion automatisch auf die
fokussierte Signalverarbeitung umschaltet,
- b) durch Variierung der Größe der Ent-
fernungsintervalle deren Anzahl gering gehalten
wird, indem im Nahbereich diese Intervalle
kleiner werden und damit die Radialauflösung
besser als im Fernbereich ist,
- c) die zu den jeweiligen Antennen gehörenden
Sende/Empfangseinheiten hinsichtlich der Si-
gnalauswertung bei verschiedenen Frequen-
zen und im Millimeterwellenbereich arbeiten
und
- d) das Prinzip der synthetischen Apertur (RO-
SAR mit schwach bündelnden Antennen) mit
dem Prinzip der realen Apertur (klassisches
Radarprinzip mit scharf bündelnden Anten-
nen) auf einem Träger (Drehkreuz) kombiniert
wird.

2. Radargerät nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß ein FM-CW-Radargerät eingesetzt
wird, dessen lineare Modulation der Sendefrequenz
die zur Erzeugung der Radialauflösung erforderliche
Bandbreite aufweist.

3. Radargerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch
gekennzeichnet, daß die am Ende des rotierenden
Armes angebrachten Antennen, die eine kreisbo-
genförmige synthetische Apertur erzeugen, entwe-
der direkt zur radialen Richtung oder direkt zum
Boden hin ausgerichtet sind.

4. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß zwei schwach bün-
delnde Antennen zur Signalverarbeitung nach dem
Prinzip der synthetischen Apertur auf ROSAR-Ba-
sis mit zwei stärker bündelnden Antennen nach
dem Prinzip der realen Apertur auf einem gemein-
samen Träger kombiniert sind.

5. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß die Antennen zur
Hinderniswarnung in Hubschrauberflugrichtung
und zur Erdbodenkartographie zum Boden hin aus-
richtbar angeordnet sind.

6. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, daß zur Ausleuchtung gestaffelter Kreisringe am Boden die Depressionswinkel von Antenne zu Antenne variierbar sind.

7. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Reduzierung der Datenrate noch vor der Signalverarbeitung und Bilderzeugung mittels einer Prozessorschaltung auf dem Rotorarm eine Datenvorverarbeitung durchgeführt wird. 5

8. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 10 dadurch gekennzeichnet, daß zur Datenübertragung vom Rotorarm in die Hubschrauberkabine eine elektrische oder optische Kopplungs-Einrichtung angeordnet ist.

9. Radargerät nach einem der Ansprüche 1 bis 8, 15 dadurch gekennzeichnet, daß der Prozessor einen ersten Kanal zur Erzeugung der Referenzfunktionen und einen zweiten Kanal zum Empfang der am Boden reflektierten Signale aufweist, wobei im ersten Kanal ein Geometriebaustein (1) und eine Prozessorschaltung (2) zum Aufteilen des ausgeleuchteten Gebietes in einzelne Entfernungsintervalle und einen Prozessorbaustein (3) aufweist, der die Referenzfunktionen für diese Entfernungsintervalle berechnet und einem Speicher (4) zuführt, und im 20 zweiten Kanal ein Quadraturdemodulator (5) für die Echosignale (S_e) angeordnet ist, dessen Komponenten (I_e und Q_e) einem A/D-Wandler (6) zugeführt und von dort einem Speicher (7) eingegeben werden und die in den Speichern (4, 7) abgelegten 25 Signal synchron in einen Korrelator (8) übertragen werden, dessen Korrelationssignale zur Anzeige einem Monitor (9) und einer Auswerteeinheit (10) eingehen. 30

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

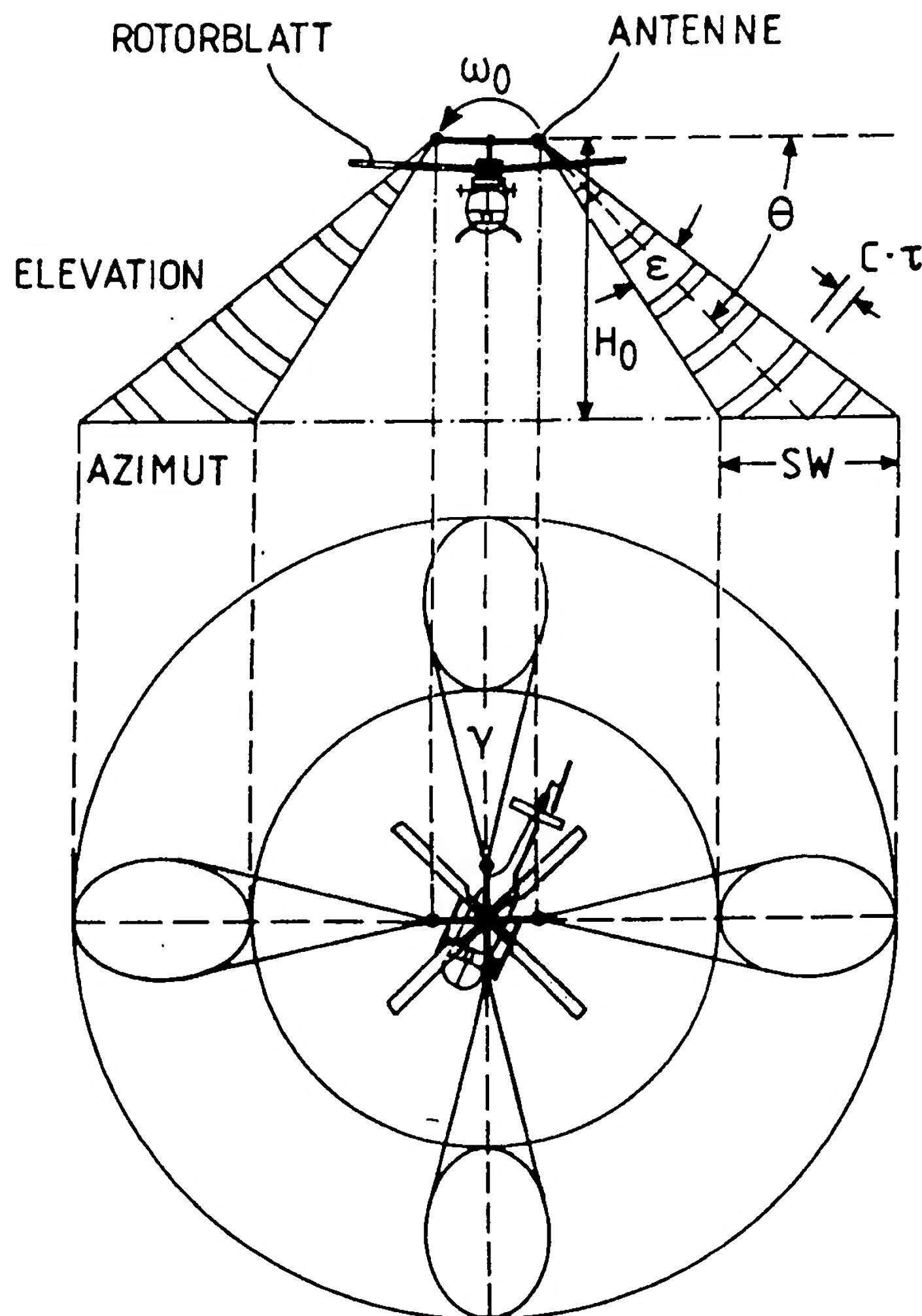


FIG. 1

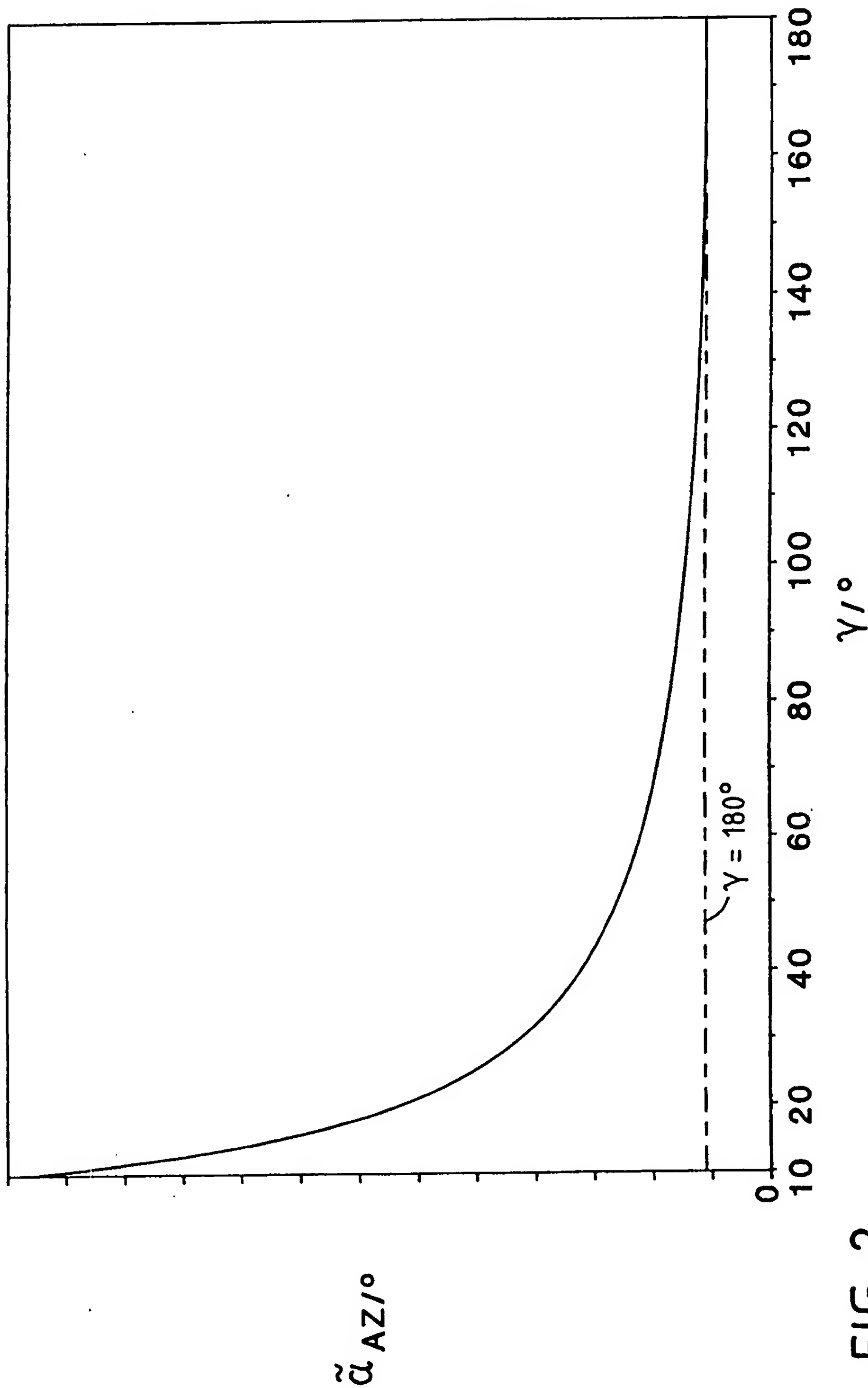


FIG. 2

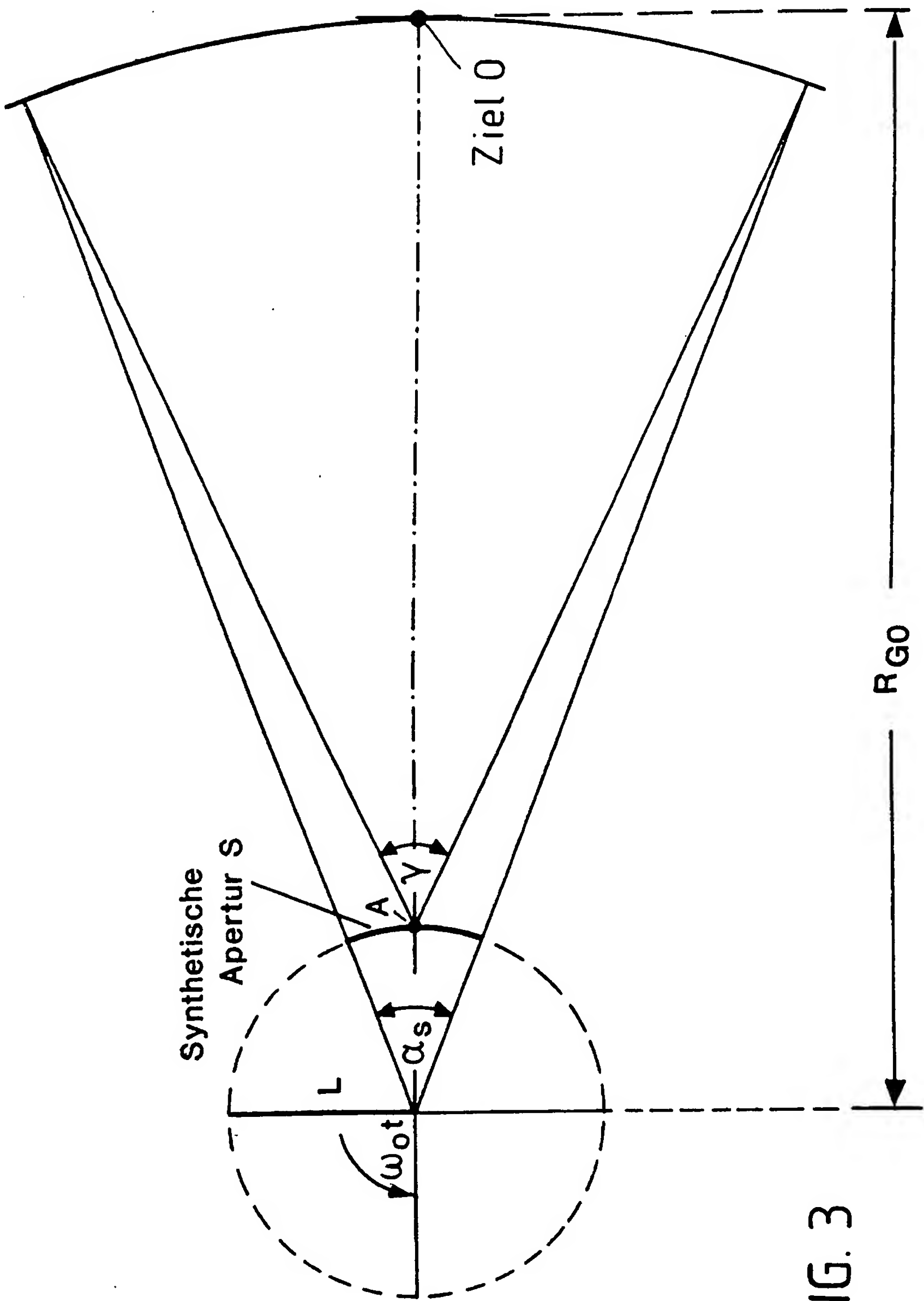


FIG. 3

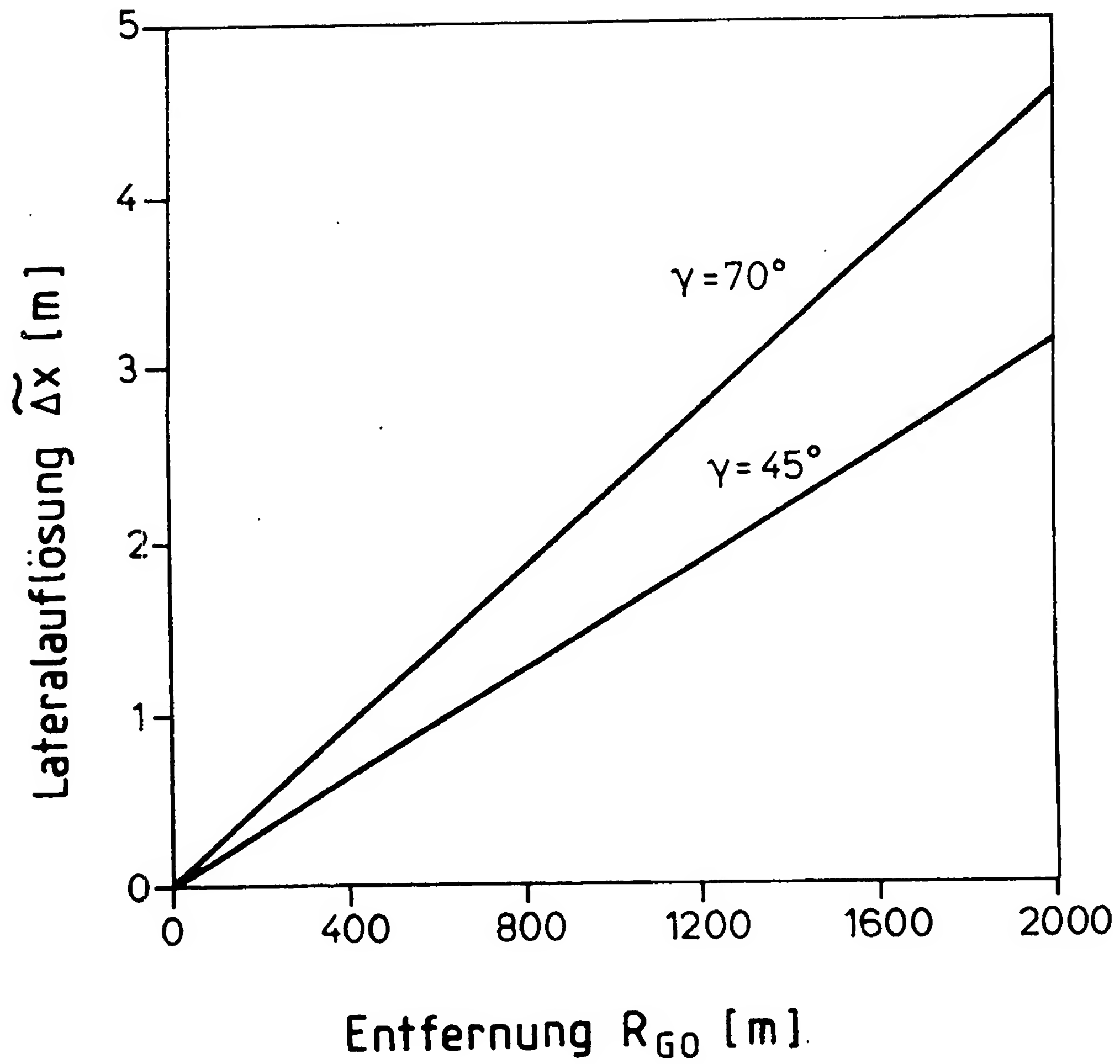


FIG. 4

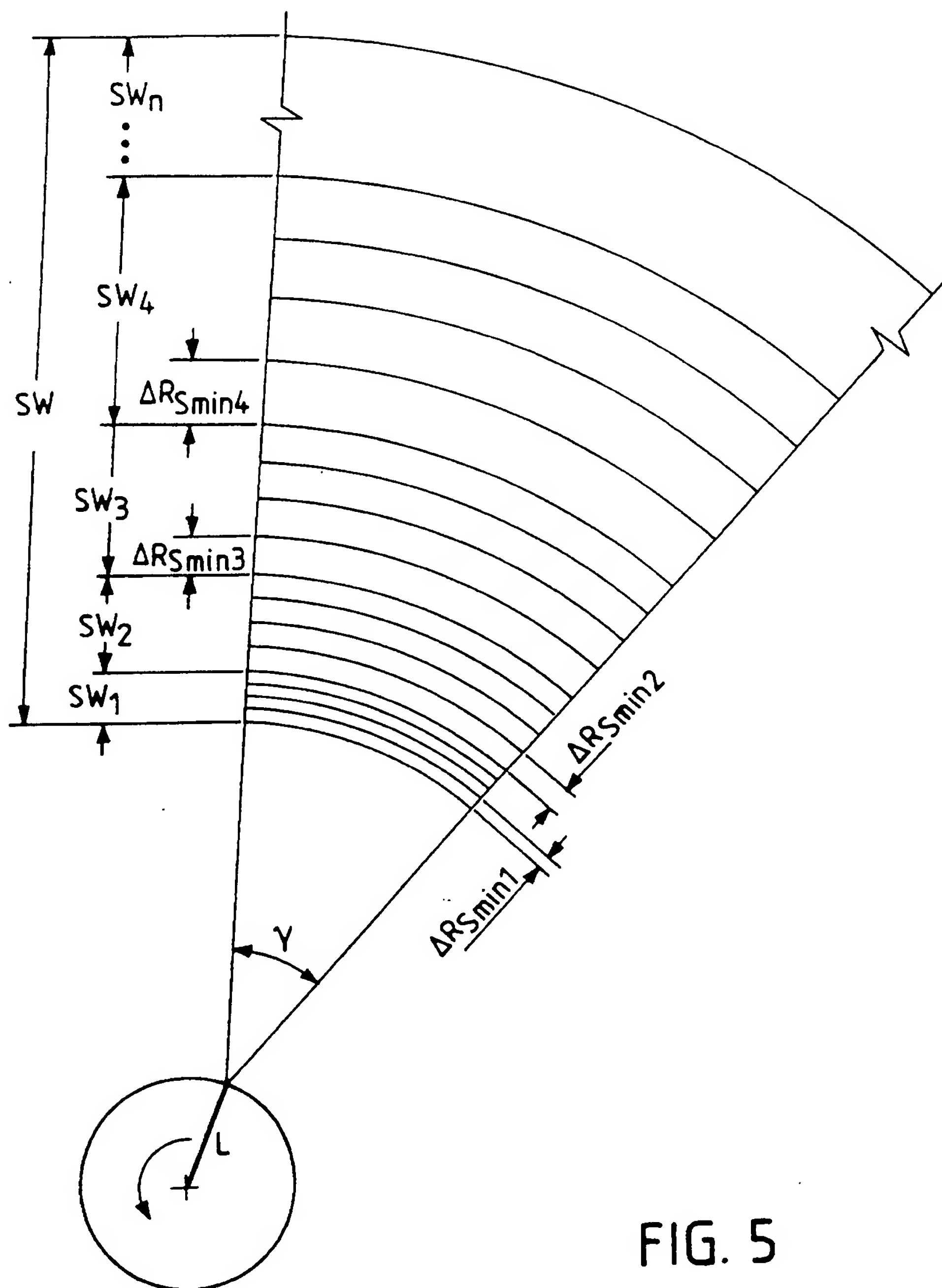


FIG. 5

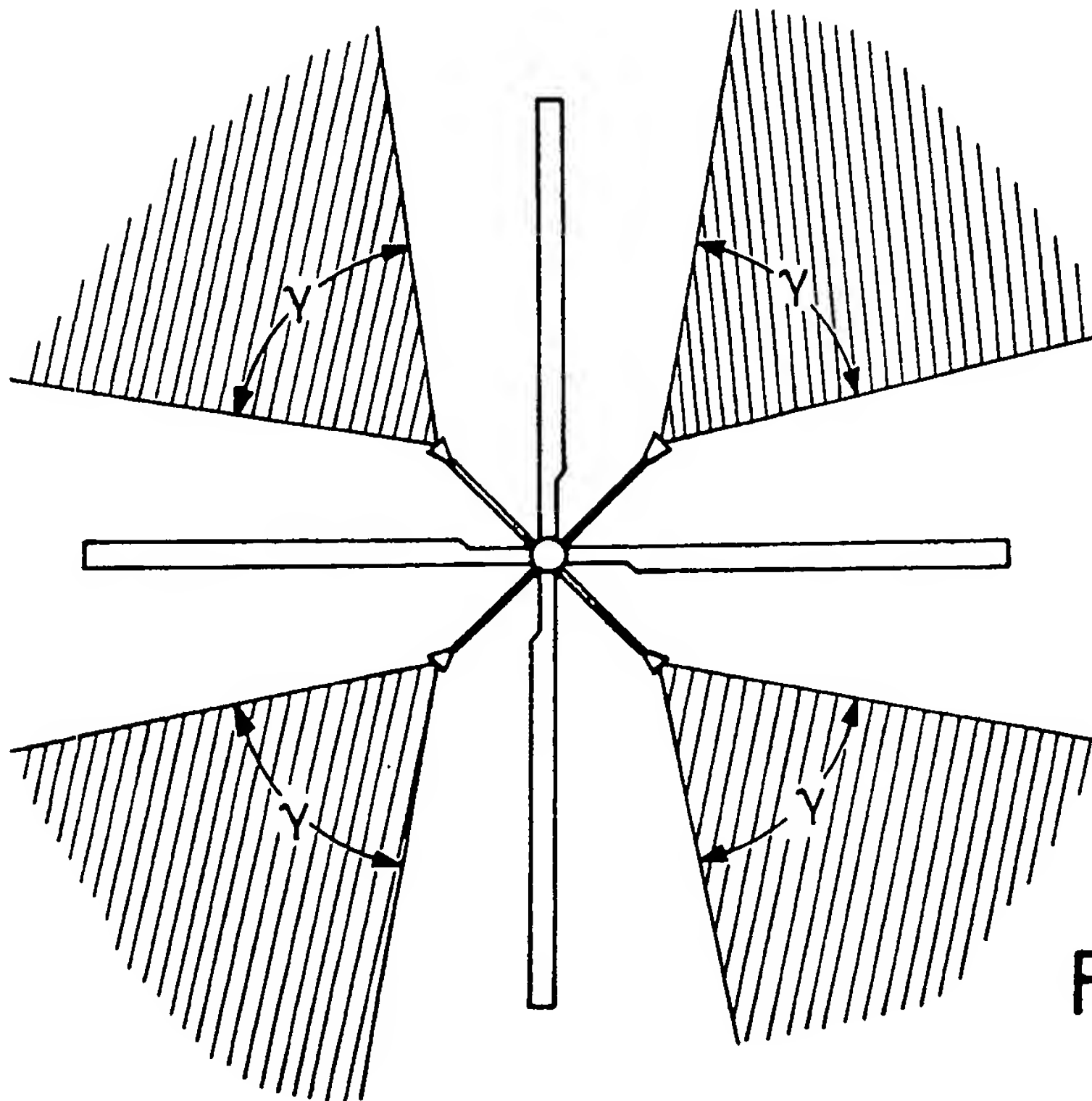


FIG. 6a

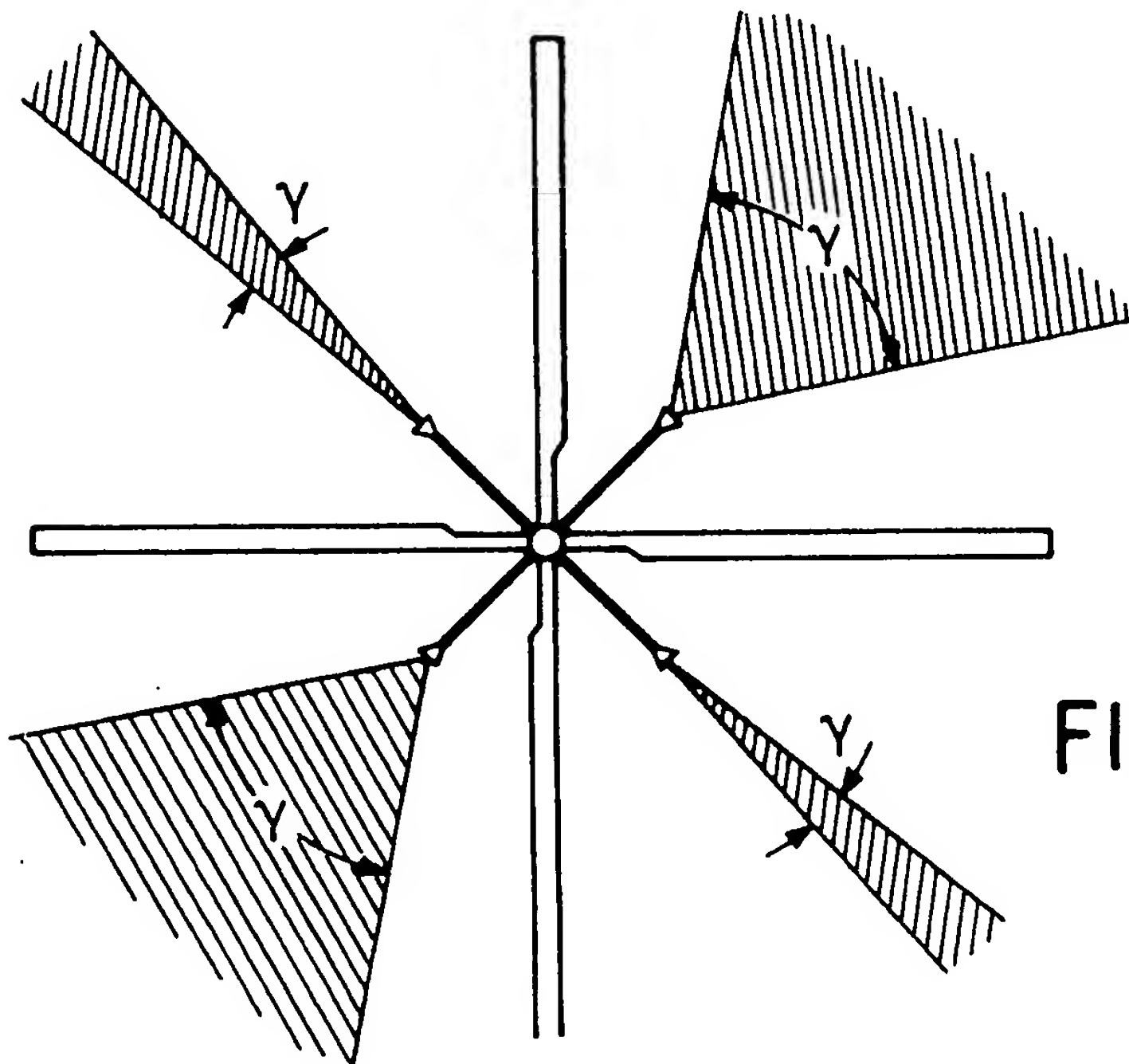


FIG. 6b

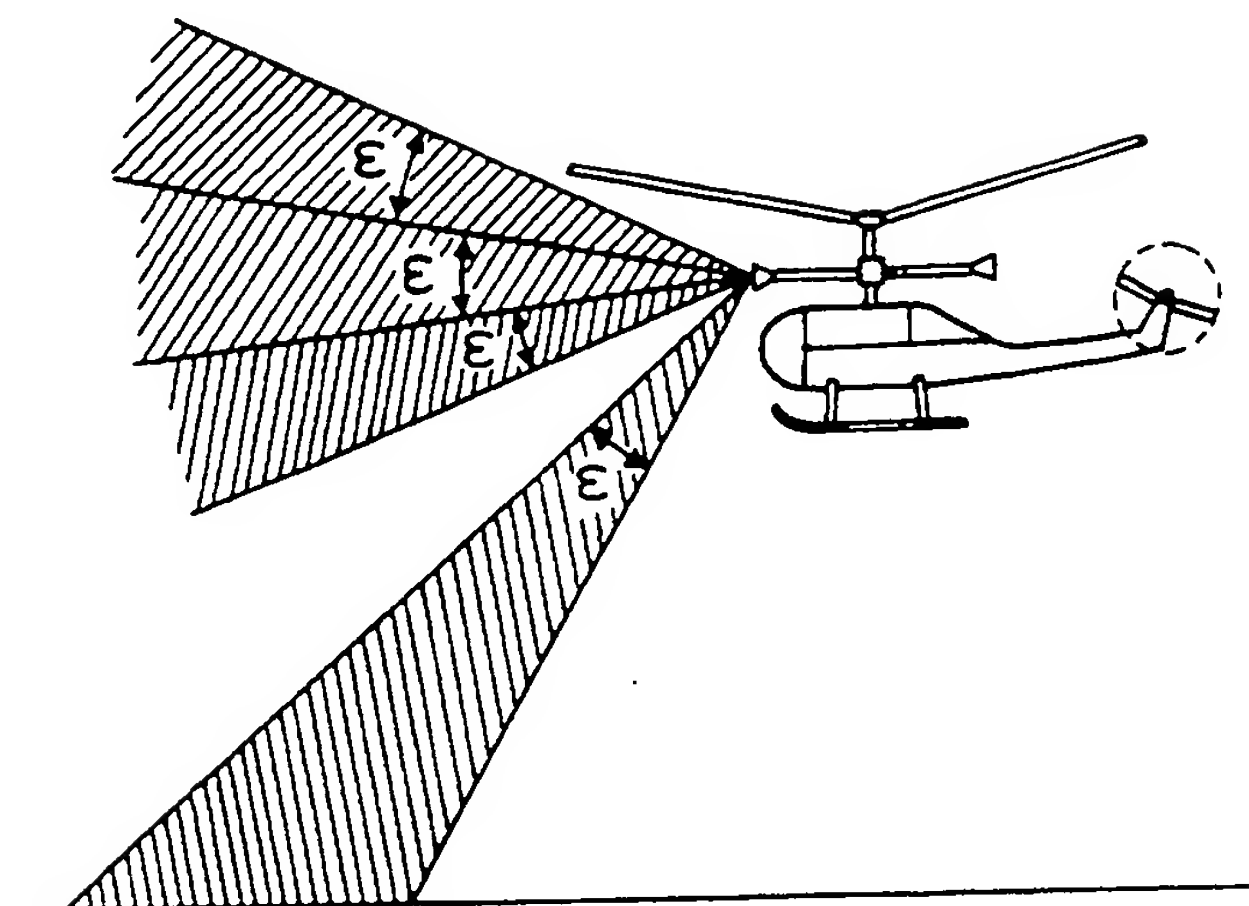


FIG. 7a

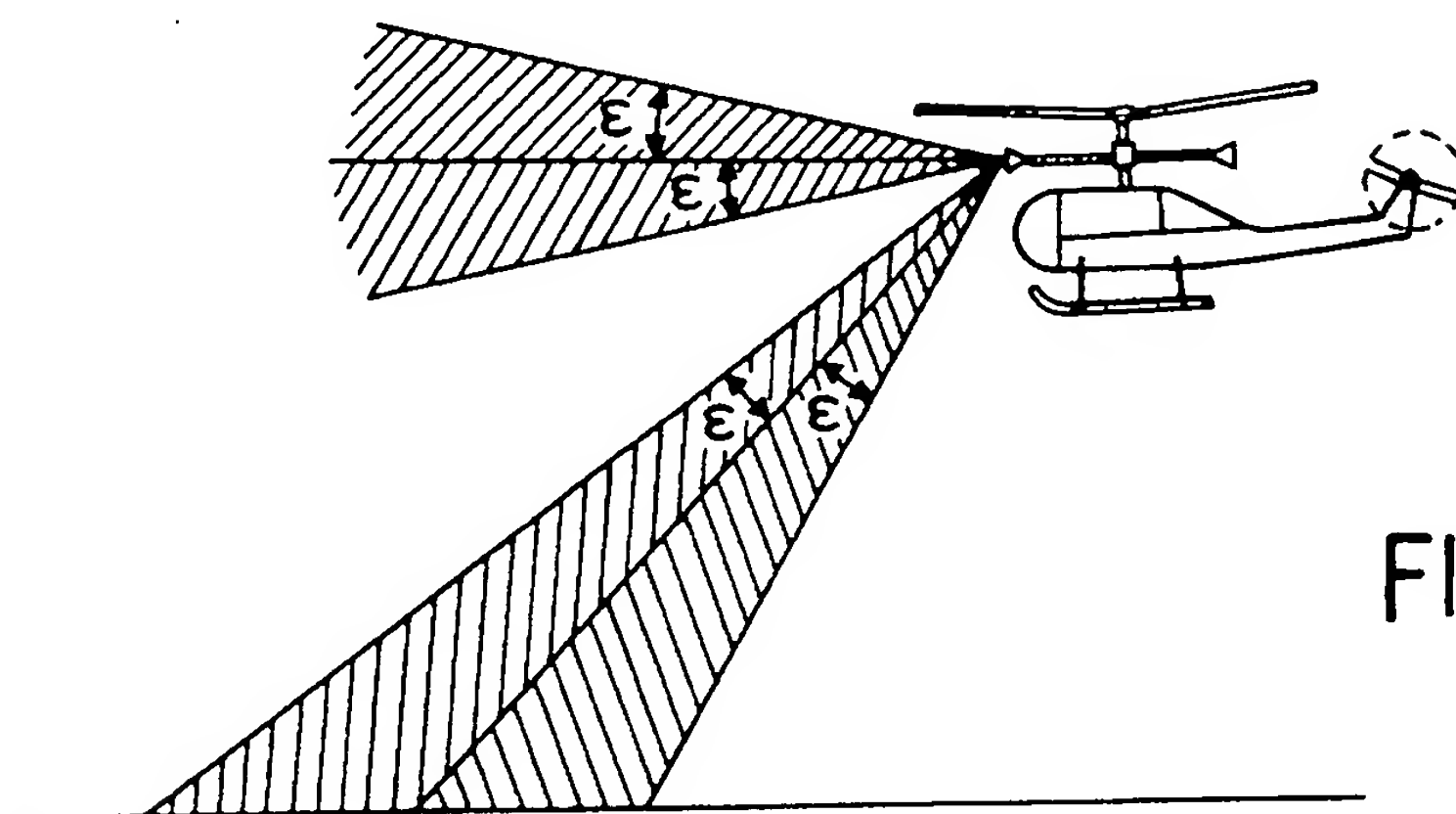


FIG. 7b

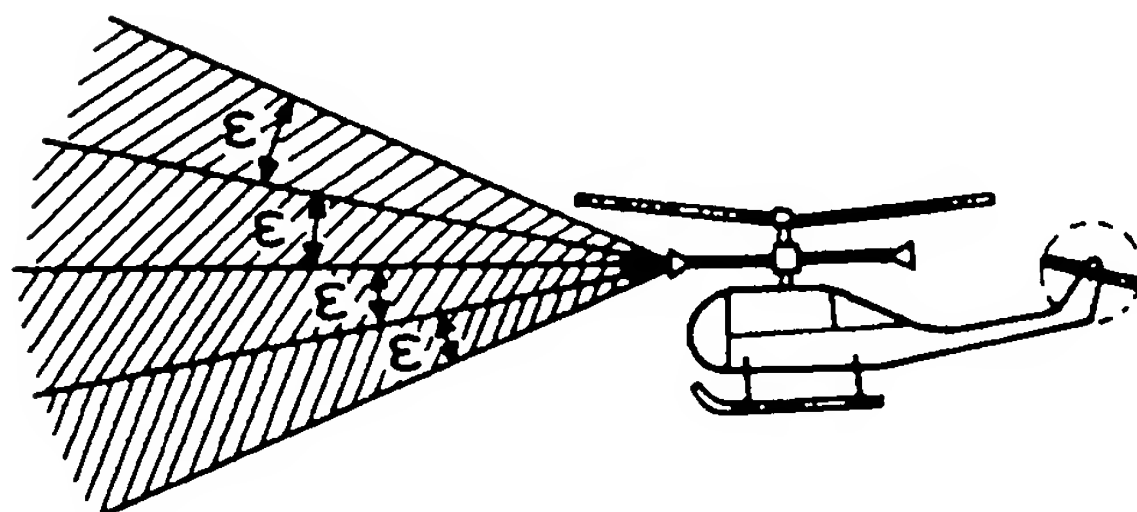


FIG. 7c

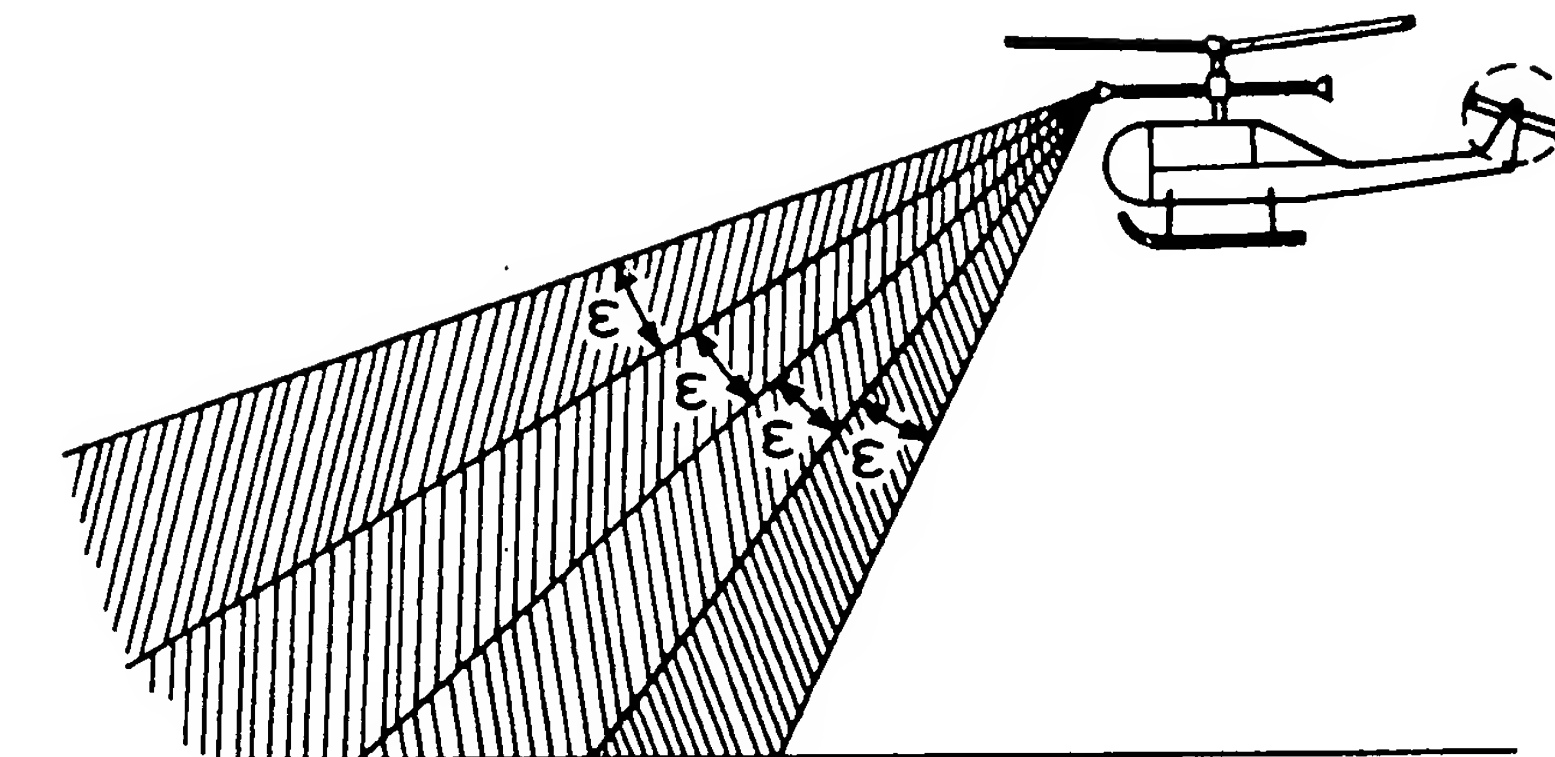


FIG. 7d

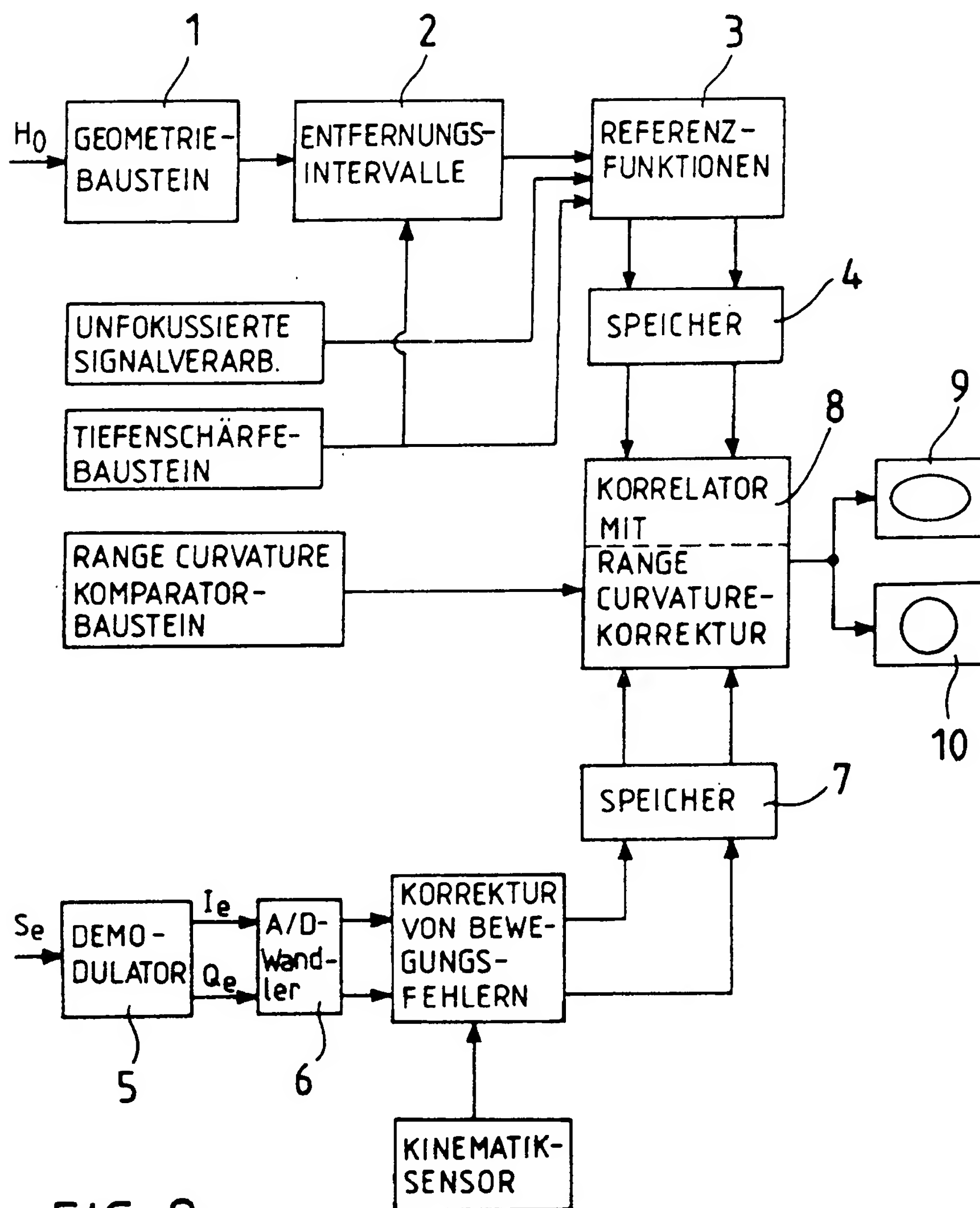


FIG. 8